Journal of Agricultural Machinery

Homepage: https://jame.um.ac.ir

Research Article
Vol. 12, No. 4, 2022, p. 613-626

Economic Analysis and Evaluation of Grain Losses of Two Common Straw Collecting Combine Harvester: A Case Study, Azna County, Lorestan, Iran

H. Amiri[1], A. Asakereh[2*], M. Soleymani[2]

1- MSc Student, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: A.asakereh@scu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.70758.1045

Received: 01-06-2021 Revised: 28-07-2021 Accepted: 08-08-2021 Available Online: 10-08-2021	**How to cite this article:** Amiri, H., Asakereh, A., & Soleymani, M. (2022). Economic Analysis and Evaluation of Grain Losses of Two Common Straw Collecting Combine Harvester: A Case Study, Azna County, Lorestan, Iran. *Journal of Agricultural Machinery*, *12*(4), 613-626. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jam.2021.70758.1045

Introduction

Wheat, is the most important crop in the world. In Iran, wheat is the most important and strategic agricultural crop, due to its vital role in providing food and feeding livestock. Because wheat harvesting operation has a significant share of total grain losses, it is considered as the most important and sensitive stage of production. Recently, in Iran, the need for straw to feed livestock has increased sharply, and since wheat is the main source of straw production, changes have been made in the configuration of the grain combine harvester so that in addition to collecting grain, it can crush and collect straw. These combine harvesters are known as straw collecting combine harvesters. The growing need for straw, along with the high cost and difficulty of straw collecting, has made straw collecting combine harvesters more popular, especially in areas where animal husbandry is common alongside agriculture. Despite facilitating and increasing the possibility of straw collection by this type of combine harvesters, in many cases grain losses have increased. Therefore, it is necessary to investigate the amount of grain losses in this type of combine harvester and determine the factors affecting its losses.

Materials and Methods

This study was conducted to investigate the effect of ground speed and wheat yield on grain loss in a straw collecting combine harvester. The use of this type of harvester was also analyzed economically. Two models of JD-1055 and JD-1165 combine harvesters were considered for evaluation. The experiments were performed in a split factorial design in the form of a randomized complete block design. Grain yield (at three yield levels: less than 2 Ton ha^{-1}, 2 to 5 Ton ha^{-1}, and more than 5 Ton ha^{-1}) was the main factor and the other two treatments, the model of combine harvester and the ground speed (with three levels: 1, 1.5 and 3 km h^{-1}) were factorially placed in subplots. Loss components including head loss, combine harvester body loss, end loss, threshing unit loss, cleaning unit loss, and quality losses were measured and compared with that of a conventional grain combine harvester. Field capacity and harvesting cost were also measured for both types of combine harvesters. Finally, based on cost-benefit analysis, the straw collecting combine harvester was compared with the conventional combine harvester economically.

Results and Discussion

The results showed that in addition to the main effects, the two-way and three-way interactions were also significant for the studied factors on head loss, body loss, end loss, threshing unit loss, cleaning unit loss, and quality losses of straw collecting combine harvester. The losses of the straw collecting combine harvester are strongly affected by the ground speed and the grain yield. The percentage of grain loss in low yields (less than 2 Ton ha^{-1}) was significantly higher than that of medium (2 to 5 Ton ha^{-1}) and high yields (more than 5 Ton ha^{-1}). The average loss of JD-1055 was less than JD-1165, mainly because of more loss in threshing and cleaning units. The highest total losses, with a rate of 10.54%, were related to JD-1165 in low yields, while the lowest percentage of total losses, at a rate of 2.54%, was related to JD-1055 in medium grain yield and low speed (1 km h^{-1}). The total grain losses of conventional combine harvesters obtained about 3.22% while the total grain losses of straw collecting combine harvesters were approximately 5.44%. In general, the losses of straw collecting combine harvester were about 2.22% more than that of the conventional combine harvester. The economic evaluation showed that in the region where animal farming is common along with agriculture, the use

of straw collecting combine harvester is more economical than a conventional combine harvester.

Conclusion

Combine harvester model, grain yield, as well as ground speed of the combine harvester affects the grain losses in different units of a straw collecting combine harvester as well as total losses. As the grain yield and the feed rate increase, the total losses of this combine decrease at first but increase again in high yields. Adjusting the feed rate helps reduce the end losses and total losses of straw collecting combine harvester. In the study area, using a straw collecting combine harvester is more economical than a conventional combine harvester.

Keywords: Economic evaluation, Quality loss, Straw, Wheat yield

نشریه ماشین‌های کشاورزی
https://jame.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۱۲، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۱، ص ۶۲۶-۶۱۳

تحلیل اقتصادی و ارزیابی افت دو نمونه کمباین کاه‌کوب متداول در کشور مطالعه موردی: شهرستان ازنا (استان لرستان)

حسین امیری[۱]، عباس عساکره[۲]*، محسن سلیمانی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۷

چکیده

این مطالعه به منظور بررسی اثر سرعت پیشروی کمباین و عملکرد مزارع گندم بر میزان افت کمباین کاه‌کوب و تحلیل اقتصادی استفاده از این نوع کمباین‌ها، در شهرستان ازنا انجام شد. کمباین‌های مورد بررسی، مدل‌های جاندیر ۱۰۵۵ و ۱۱۶۵ بودند. آزمایش‌ها به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شدند که عملکرد مزارع گندم به‌عنوان عامل اصلی و دو تیمار مدل کمباین کاه‌کوب و سرعت پیشروی کمباین‌ها به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. ظرفیت کمباین و اختلاف درآمدهای حاصل از برداشت با کمباین کاه‌کوب و معمولی محاسبه گردید. نتایج نشان داد علاوه بر اثرات اصلی، اثر متقابل دوگانه و سه‌گانه تیمارها نیز بر صفات ریزش دماغه، افت‌های بدنه کمباین، انتهای کمباین، واحد کوبنده، واحد تمیزکننده، افت کل کمباین و افت کیفی کمباین کاه‌کوب معنادار می‌باشد. افت کمباین کاه‌کوب به شدت متأثر از سرعت پیشروی و عملکرد مزارع (تغذیه) است. در مجموع، میزان افت کمباین کاه‌کوب حدود ۲/۲۲٪ بیش‌تر از کمباین معمولی به‌دست آمد که بیش‌ترین افت مربوط به افت انتهای کمباین کاه‌کوب بود. بررسی اقتصادی نشان داد که در مناطقی که دامپروری در کنار زراعت رواج دارد و کاه ارزش اقتصادی بالایی دارد، استفاده از کمباین کاه‌کوب اقتصادی‌تر از کمباین معمولی است.

واژه‌های کلیدی: افت کیفی، بررسی اقتصادی، عملکرد گندم، کاه

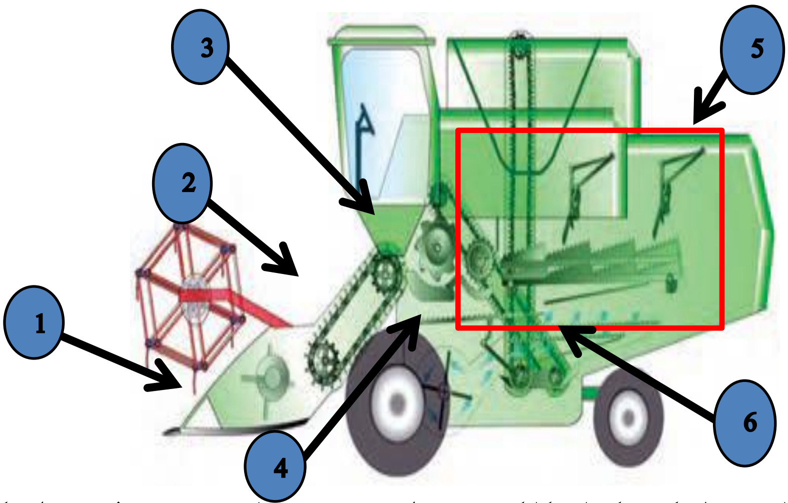
مقدمه

گندم مهم‌ترین محصول کشاورزی دنیا با بیش‌ترین سطح زیر کشت است (FAO, 2019) و در کشور ایران، به دلیل نقش اساسی که در تأمین مواد غذایی و تغذیه دام‌ها دارد، مهم‌ترین و راهبردی‌ترین محصول کشاورزی نیز می‌باشد (Khosravani & Rahimi, 2006). در اکثر مناطق کشور، کشاورزان در کنار زراعت و باغبانی به مشاغل دیگری همچون دامپروری نیز می‌پردازند که برای تغذیه دام خود به کاه نیازمند هستند. هم‌چنین افزایش دامپروری‌ها (صنعتی و غیر صنعتی) در کشور، نیاز به علوفه و کاه را افزایش داده است. این موضوع در کنار خشک‌سالی‌های اخیر، موجب افزایش قیمت کاه شده است. جمع‌کردن کلش و تبدیل آن به کاه، کاری بسیار سخت، زمان‌بر و مستلزم صرف هزینه‌های زیاد است. همچنین تردد زیاد ماشین‌ها و فشرده‌سازی احتمالی لایه‌های زمین از جمله مشکلات دیگر در جمع‌آوری کاه می‌باشد. این مشکلات باعث شده است که کمباین‌داران برای برآورده ساختن نیاز کشاورزان، تغییراتی در کمباین خود بدهند تا علاوه بر دانه بتوانند کلش را به کاه تبدیل و در مخزن مخصوص کاه که بر روی کمباین تعبیه شده است؛ جمع‌آوری کنند. در این کمباین‌ها که به کمباین کاه‌کوب معروف هستند، برداشت گندم و جو از پایین‌ترین قسمت ساقه و در صورت نبود موانع، از سطح خاک انجام می‌شود. به دلیل افزایش نیاز به کاه، هزینه و سختی زیاد جمع‌آوری آن، این نوع کمباین‌ها به‌خصوص در مناطق با نظام دامپروری-زراعت با استقبال بسیار زیاد کشاورزان مواجه شده‌اند به طوری که حتی شرکت‌های تولیدکننده بزرگ کمباین کشور اقدام به تولید کمباین کاه‌کوب کرده‌اند. کمباین کاه‌کوب علاوه بر انبار دانه، دارای انبار ذخیره کاه نیز می‌باشد که هم‌زمان دانه و تمامی کاه را در مخازن جداگانه انبار می‌کند. کمباین کاه‌کوب با دارا بودن قابلیت جمع‌آوری حجم زیادی از بقایای گیاهی مزرعه و عدم مزاحمت برای آماده‌سازی بستر و آبیاری کشت دوم و کاهش تردد به داخل زمین، به

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: A.asakereh@scu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jam.2021.70758.1045

سرعت مورد اقبال کشاورزان قرار گرفته است. تبدیل کمباین‌های معمولی به کمباین‌های کاه‌کوب و استفاده از این نوع کمباین‌ها برای برداشت غلات به‌ویژه گندم در تمام مدل‌های کمباین (موجود در کشور) در حال افزایش است. یکی از مراحل بسیار مهم و حساس در زراعت گندم، مرحله برداشت است که سهم قابل‌توجهی از تلفات کل گندم تولیدی و هم‌چنین هزینه‌های تولید را به خود اختصاص می‌دهد. ورود کمباین‌های کاه‌کوب هرچند موجب افزایش و راحتی تولید کاه شده است ولی در بسیاری از موارد افت دانه (دانه باقی‌مانده با کاه یا دانه شکسته شده) را افزایش داده است (Rostami, Lotfalian, & Hoseinzadeh-Samani, 2018). تغییرات در کمباین‌های معمولی جهت تبدیل به کمباین کاه‌کوب در کارگاه‌های محلی و با حداقل امکانات فنی و مهندسی صورت می‌گیرد و به‌صورت تجربی می‌باشد.

بخش‌های عمده کمباین معمولی که تغییراتی جهت تبدیل شدن به کمباین کاه‌کوب در آن صورت می‌گیرد در شکل ۱ نشان داده شده است. در بیش‌تر کمباین‌های کاه‌کوب جهت کاهش فشار بر موتور کمباین، عرض برش دماغه (شماره ۱) و تعداد تسمه‌های نقاله تغذیه (شماره ۲) کاهش داده می‌شود. در سیستم کوبش کمباین کاه‌کوب، کوبنده نوع چکشی (انگشتی)، جایگزین کوبنده سوهانی می‌شود (شماره ۳). تعداد انگشتی‌های کوبنده، تقریباً ۶۰ عدد می‌باشند که هر کدام به‌طور جداگانه به سیلندر کوبنده پیچ شده‌اند. در این سیستم، با ورود احتمالی سنگ به داخل کوبنده و ضد کوبنده، به خاطر فاصله زیاد بین کوبنده و ضد کوبنده و نیز چکشی بودن کوبنده، سیستم کوبش با خسارت کم‌تری مواجه می‌شود و به همین دلیل کاربر بدون نگرانی از ورود سنگ به داخل کمباین، می‌تواند محصول را از پایین‌ترین حد ممکن درو کند. در این نوع کمباین، ضربه‌زن (استوانه کلش‌کش) حذف شده است و برخلاف کمباین معمولی، کل کاه همراه با دانه از سوراخ‌های ضد کوبنده عبور می‌کند و بر روی سینی دانه می‌ریزد. به دلیل تغییر نوع کوبنده و محدودیت فضا، ارتفاع سینی دانه کاهش می‌یابد و هم‌سطح الک بالایی می‌شود (شماره ۴). از تغییرات مهم دیگری که در کمباین کاه‌کوب صورت گرفته است، حذف کاه‌برها، انگشتی‌های تکان‌دهنده و پرده و جایگزین کردن مخزن کاه به جای آن‌ها است (شماره ۵). کاه خرد شده همراه دانه از سوراخ‌های ضد کوبنده بر روی سینی دانه می‌ریزند و به سمت الک‌ها حرکت می‌کنند. در انتهای الک‌ها فن مکنده-دمنده نسبتاً قوی اضافه شده است که کاه‌ها را مکیده و به مخزن کاه انتقال می‌دهد (شماره ۶). در این کمباین‌ها خروجی کاه از انتهای کمباین وجود ندارد. دانه‌ها همانند کمباین‌های معمولی از الک بالایی و پایینی عبور کرده و به مخزن دانه انتقال می‌یابند. همچنین. تغییرات دیگری مانند حذف انتقال نیرو به کاه‌برها، افزودن سیستم انتقال نیرو و پولی‌ها جهت به حرکت درآوردن فن مکنده-دمنده، جک و سیستم تخلیه مخزن کاه نیز صورت گرفته است.



شکل ۱- قسمت‌های مختلف کمباین معمولی که در کمباین کاه‌کوب تغییر داده می‌شود، ۱: دماغه، ۲: تسمه تغذیه، ۳: واحد کوبنده، ۴: سینی دانه، ۵: واحد جداکننده، ۶: واحد تمیزکننده

Fig. 1. Different parts of a conventional combine that are changed in a straw collecting combine, 1: Header, 2: Feeder conveyor, 3: Threshing unit, 4: Grain pan, 5: Separating unit, 6: Cleaning unit

بر اساس برخی گزارش‌ها، کمباین‌های کاه‌کوب دارای نواقص و ایرادات زیادی بوده که نیاز به بررسی و ارزیابی آن‌ها می‌باشد. نتایج بررسی و مقایسه تلفات برداشت کمباین‌های کاه‌کوب و معمولی از نوع جاندیر ۹۵۵ و کلاس ۷۶ در استان فارس نشان داد که افت واحد

برش، واحد کوبش و جدایش در کمباین کاه‌کوب به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از کمباین معمولی است. مجموع تلفات کمباین معمولی و کاه‌کوب به‌ترتیب ۲/۳٪ و ۱۳/۳٪ اندازه‌گیری شد. مواد غیر دانه‌ای در مخزن دانه کمباین کاه‌کوب ۲/۷٪ بود در حالی که در کمباین معمولی ۰/۵٪ بود. بیش‌ترین تلفات کمباین کاه‌کوب جاندیر در بخش مخزن و به میزان ۴/۱۶٪ و در کمباین کاه‌کوب کلاس در واحد کوبش و جدایش، به میزان ۸/۱۳٪ دیده شد (Rostami *et al.*, 2018). با این وجود در مطالعه دیگری، اختلاف معناداری بین کمباین کاه‌کوب و معمولی از نظر افت واحد برش مشاهده نگردید ولی افت انتهای کمباین و میزان شکستگی دانه در مخزن دانه در کمباین کاه‌کوب، به‌طور معنی‌داری کم‌تر از کمباین معمولی بود. نتایج این مطالعه نشان داد که در رطوبت بیش‌تر، کمباین کاه‌کوب عملکرد بسیار بهتری از کمباین معمولی دارد (Gheleshkhani, 2017). مطالعات بسیار زیادی در زمینه اندازه‌گیری ریزش کمباین‌های معمولی و عوامل مؤثر بر آن‌ها انجام شده است. اندازه‌گیری افت برداشت گندم با کمباین در سه شهرستان مرودشت، اقلید و داراب نشان داد که میانگین کل ضایعات گندم در مرحله برداشت ۴/۸٪ است و بیش‌ترین مقدار این ضایعات (۶۸٪) مربوط به افت دماغه کمباین است (Khosravani & Rahimi, 2006). تلفات برداشت گندم با کمباین در شهرستان خرم‌آباد ۴/۵۶٪ گزارش شده است (Rahmati, Razdari, Izadi, & Yoosefian, 2015). نتایج بررسی اثر پارامترهای طراحی بر جدا شدن دانه در کوبنده برای کمینه کردن افت جداکننده کمباین نشان داد که اثر عوامل ارتفاع برش ساقه، میزان تغذیه و نسبت لقی کوبنده بر روی میزان جداسازی و در نتیجه، افت واحد جداکننده معنادار است (Mirzazadeh, Abdollahpour, & Moghadam, 2011). اثر سرعت حرکت چرخ و فلک، ارتفاع برش محصول و سرعت پیشروی (Mohd, Omar, Mutasim, & Mamou, 1997; Khosravani & Rahimi, 2006; Patel & Varshney, 2007; Jalali & Abdi, 2014; Sotnar, Pospisil, Marecek, Dokukilova, & Novotny 2018; Karmulla Chaab, Karparvarfard, Rahmanian-Koushkaki, Mortezaei, & Mohammadi,, 2020)، سرعت دورانی کوبنده، فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده، اندازه سوراخ الک‌ها، رطوبت محصول و تنظیم پروانه‌ی دمنده (Rahama *et al.*, 1990; Sabir, Igbal, & Yasin, 2005; Patel & Varshney, 2007)، تاریخ برداشت (Sheraddin & Ghulan, 1991)، میزان تغذیه و خوراک‌دهی به کمباین، میزان رطوبت محصول و سرعت پیشروی کمباین (Patel & Varshney, 2007) از مواردی می‌باشند که به‌طور گسترده بررسی شده‌اند.

با این وجود، علی‌رغم افزایش چشمگیر تعداد کمباین‌های کاه‌کوب در کشور، مطالعات اندکی در رابطه با آن‌ها انجام شده است. بنابراین با توجه به گسترش این نوع کمباین‌ها و اهمیت محصول گندم و عملیات برداشت آن در میزان تلفات، ضروری است میزان تلفات دانه در این نوع کمباین بررسی و عوامل مؤثر بر آن تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

طبق اطلاعاتی که از کارشناسان، مراکز خدمات کشاورزی و جهاد کشاورزی چندین استان به‌دست آمد، استقبال از کمباین کاه‌کوب در مناطق با نظام دامپروری- زراعت بسیار بیش‌تر می‌باشد. بر این اساس استان لرستان و شهرستان ازنا به‌عنوان منطقه‌ای با نظام دامپروری- زراعت انتخاب گردید. بخش وسیعی از این شهرستان را دشت‌های حاصلخیز و مزارع کشاورزی تشکیل می‌دهند به طوری که مقام اول تولید گندم در استان لرستان را به خود اختصاص داده است (Jahad Agricultural Organization of Lorestan, 2020). این شهرستان در ۴۹ درجه و ۲۷ دقیقه طولی و ۳۳ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است.

اندازه‌گیری ریزش

این مطالعه در دو بخش، شامل اندازه‌گیری میزان ریزش کمباین و بررسی ظرفیت زراعی و مسائل اقتصادی مرتبط انجام شد. در بخش اول، میزان ریزش کمباین کاه‌کوب در عملکردهای مختلف گندم و سرعت‌های پیشروی متفاوت کمباین اندازه‌گیری شد. عملکرد مزارع به سه دسته مزارع با عملکرد کم (کم‌تر از ۲ تن در هکتار)، عملکرد متوسط (بین ۲ الی ۵ تن در هکتار) و عملکرد بالا (بیش‌تر از ۵ تن در هکتار) تقسیم شدند. سرعت پیش روی کمباین نیز در سه سطح کم، متوسط و زیاد که به‌ترتیب ۱، ۱/۵ و ۲ کیلومتر بر ساعت بودند، در نظر گرفته شد. تقسیم‌بندی مزارع از نظر عملکرد، بر اساس اندازه‌گیری‌های اولیه انجام شد. برای این منظور در ابتدا عملکرد مزارع با شیب و رقم کشت شده یکسان (رقم میهن)، با نمونه‌برداری به‌وسیله قاب‌های یک مترمربعی از قسمت‌های مختلف مزرعه، به‌صورت تصادفی و در چهار تکرار تعیین گردید. به‌طور کلی سعی گردید حتی‌الامکان از مزارعی استفاده شود که تمام سطح زمین یکدست و دارای شرایط یکسانی باشند و آبیاری کل زمین در فصل کشت در کم‌ترین اختلاف زمانی در بین قسمت‌های مختلف آن انجام شده باشد. همچنین مزارعی انتخاب شدند که در برابر تنش‌ها و امراض نیز شرایط یکسانی داشتند. زمان برداشت و اندازه‌گیری ریزش کمباین کاه‌کوب از ۱۷ تیرماه ۱۳۹۹ تا ۱۴ مردادماه همان سال انجام شد. طول و عرض کرت‌های مورد استفاده به‌ترتیب ۴۰ و ۱۵ متر در نظر گرفته شد.

انتخاب کمباین با توجه به بیش‌ترین درصد فراوانی کمباین موجود در کشور انجام گرفت و بر این اساس دو مدل جاندیر ۱۰۵۵ و

۱۱۶۵ که به‌طور گسترده به کمباین کاه‌کوب تبدیل شده‌اند، انتخاب شدند. متداول‌ترین مدل‌های کمباین شرکت جاندیر در ایران که به کاه‌کوب تبدیل شده‌اند، مدل‌های ۹۵۵، ۱۰۵۵ و ۱۱۶۵ هستند. اختلاف کمباین ۱۰۵۵ با کمباین ۹۵۵ تنها در مدل و توان موتور است که در مدل ۱۰۵۵، موتور با قدرت ۱۲۰ اسب بخار جایگزین موتور ۹۷ اسب بخار شده است. با توجه به این‌که کمباین جاندیر ۹۵۵ در کشور تولید نمی‌شود به همین دلیل مدل ۱۰۵۵ جهت اندازه‌گیری ریزش انتخاب شد. سعی گردید کمباین‌هایی که از نظر عمر، تلفات و عمر مفید، شرایط مشابهی دارند و به استانداردهای برداشت اداره فناوری‌های مکانیزاسیون استان لرستان نزدیک‌تر باشند، انتخاب شوند. مشخصات کمباین‌های مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات کلی کمباین‌های مورد استفاده

Table 1- The general specifications of the studied combine harvesters

	کمباین ۱۰۵۵ **JD1055**	کمباین ۱۱٦٥ **JD1165**
عرض برش Cutter bar width (m)	4.2	4.4
ظرفیت مخزن دانه Grain tank capacity (Lit)	2700	4000
ظرفیت مخزن کاه Straw tank capacity (m^3)	8	8
سیستم کوبنده Type of threshing system	کوبنده چکشی با ۶۰ عدد چکش (انگشتی) Spike-tooth cylinder with 60 tooth in cylinder	کوبنده چکشی با ۶۰ عدد چکش (انگشتی) Spike-tooth cylinder with 60 tooth in cylinder
سیستم جداسازی Separation system	فن خلأ ساز Vacuum fan	فن خلأ ساز Vacuum fan
مدل موتور Engine model	۱۰۰۰۶-۶ پرکینز Perkins 10006.6	۶۰۶۸ جاندیر JD 6068
تعداد سیلندر موتور Number of engin's cylinders	6	6
توان موتور Engine power (hp)	120	160

افت طبیعی (پیش از برداشت) و سکوی برش (دماغه) کمباین بر اساس دستورالعمل اندازه‌گیری افت در قسمت‌های مختلف کمباین برداشت غلات که توسط موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (دفتر محصولات اساسی، غلات، حبوبات و نباتات علوفه‌ای) تهیه شده است، اندازه‌گیری شدند. به‌منظور تعیین تلفات پیش از برداشت، یک ناحیه برداشت نشده از مزرعه که از کناره‌های مزرعه فاصله‌ی کافی داشت، انتخاب شد. یک کادر مربعی شکل با ابعاد ۱×۱ متر (یک مترمربع)، در داخل محصول بر روی سطح زمین قرار گرفت و محصول با داس به دقت به طوری که ریزش دانه نداشته باشد، برداشت شد. سپس تمام دانه و سنبله‌هایی که درون کادر روی زمین ریخته بودند، جمع‌آوری، وزن و بر حسب گرم ثبت شد (A). این کار برای هر سه سطح عملکرد، در چهار تکرار انجام شد. افت طبیعی (L_N) بر حسب کیلوگرم در هکتار با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد. این رابطه خلاصه شده دستورالعمل اندازه‌گیری افت طبیعی است (Sumner & Williams. 2012; Rostami *et al.*, 2018; Anon, 2017).

$$L_N = 10 \times A \qquad (۱)$$

جهت تعیین افت سکوی برش، از یک قاب ۱×۱ متر (یک مترمربع) استفاده گردید. برش محصول (ساقه گندم) از ارتفاع تقریبی ۱۰ سانتی‌متر از سطح زمین انجام شد. سپس قاب به‌صورت تصادفی در حدفاصل مقسم‌های در دو طرف سکوی برش و زیر کمباین انداخته شد. تمام دانه‌ها و خوشه‌های ریخته شده بر روی زمین و هم‌چنین خوشه‌هایی که از دسترس شانه برش خارج شده بود (برداشت نشده) جمع‌آوری و بر حسب گرم وزن شد (B) و با کم کردن تلفات طبیعی از آن، تلفات سکوی برش (L_H)، بر حسب کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (رابطه (۲)); (Sumner & Williams, 2012; Anon, 2017).

$$L_H = 10 \times (B - A) \qquad (۲)$$

از آن‌جایی که کلیه تغییرات اعمال شده در کمباین کاه‌کوب در کارگاه‌های کوچک با حداقل امکانات فنی و مهندسی انجام می‌شود، اندازه‌گیری ریزش بدنه ضروری است. این افت در کمباین‌های کاه‌کوب به دلیل فرسودگی نیست و بیش‌تر به دلیل عدم درزبندی مناسب و تغییر واحدها است. هرچند فرسودگی نیز شدت ریزش بدنه را افزایش می‌دهد. برای اندازه‌گیری افت بدنه، با استفاده از پارچه برزنتی، تمامی زیر کمباین و نقاطی که امکان ریزش از آن‌ها وجود دارد، به‌طور یکپارچه پوشانده شد. تمامی دانه‌ها و خوشه‌هایی که بر

روی برزنت ریخته شدند جمع‌آوری، وزن و بر حسب گرم ثبت شدند (C). مقدار افت و ریزش بدنه (L_B) بر حسب کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. رابطه (۳) خلاصه دستورالعمل اندازه‌گیری افت بدنه کمباین را نشان می‌دهد (Anon, 2017).

$$L_B = \frac{10C}{LW} \qquad (۳)$$

که در این رابطه L و W، به‌ترتیب طول مسیر طی شده توسط کمباین و عرض کار کمباین (عرض کار واقعی) می‌باشد.

در کمباین کاه‌کوب افت انتهای کمباین وجود ندارد بلکه به سبب تغییراتی که در واحد کوبش، جداسازی و تمیزکننده ایجاد شده است، اندازه‌گیری افت این واحدها با کمباین معمولی متفاوت خواهد بود. دستورالعمل مشخصی برای اندازه‌گیری افت واحد کوبنده، جداکننده و تمیزکننده این نوع کمباین‌ها وجود ندارد. به‌طور کلی دو نوع افت کمی و کیفی در این مراحل می‌توان برای این نوع کمباین‌ها در نظر گرفت. افت کمی شامل دانه‌ها و خوشه‌های نیم‌کوب یا کوبیده نشده می‌باشد که همراه کاه به مخزن کاه منتقل می‌شوند. افت کیفی شامل دانه‌های شکسته است که در مخزن دانه می‌باشند. در مطالعه‌ای که به ارزیابی تلفات برداشت کمباین کاه‌کوب پرداخته شد، جهت اندازه‌گیری افت واحد کوبنده، جداکننده و تمیزکننده، به‌طور تصادفی ۱۰ کیلوگرم کاه از مخزن کاه کمباین برداشت شد و دانه‌های سالم و شکسته موجود در آن جدا و جرم آن‌ها تعیین شد. دانه‌های سالم به‌عنوان تلفات واحدهای جداکننده و تمیزکننده و دانه‌های شکسته به‌عنوان تلفات واحد کوبنده در نظر گرفته شد. سپس بر اساس جرم کاه داخل مخزن کاه کمباین و مساحت برداشت شده، تلفات به یک هکتار تعمیم داده شد (Rostami *et al.*, 2018). در این مطالعه جهت اندازه‌گیری این تلفات، بعد از خارج کردن کلیه مواد اعم از دانه و کاه از واحدهای کمباین، کیسه‌ای در مجرای ورودی دانه به مخزن دانه قرار داده شد و سپس مسیری به طول مشخص (L) با کمباین برداشت گردید و پس از توقف کمباین و کار کردن در جا به مدت سه دقیقه (خروج کل مواد از واحدهای کمباین)، دانه و کاه جمع شده در کیسه و مخزن کاه تخلیه و به‌صورت مجزا وزن گردید که با این کار علاوه بر تعیین عملکرد دانه، میزان تولید کاه در هکتار نیز به‌دست آمد. برای اندازه‌گیری افت کمی، پس از تخلیه مخزن کاه، به کمک دمنده و الک‌های دستی، دانه از کاه جدا شد. سپس دانه‌های سالم و شکسته از یکدیگر تفکیک شدند که دانه‌های شکسته (D، بر حسب گرم) به‌عنوان تلفات واحد کوبش و دانه‌های سالم (E، بر حسب گرم) به‌عنوان تلفات واحد تمیزکننده در نظر گرفته شدند. بر اساس مساحت برداشت شده و جرم دانه‌های سالم و شکسته در مخزن کاه کمباین، تلفات واحدهای کوبنده و تمیزکننده به یک هکتار تعمیم داده شد. رابطه (۴) و (۵) به‌ترتیب نشان‌دهنده خلاصه عملیات اندازه‌گیری تلفات واحدهای کوبنده (L_T) و تمیزکننده (L_C) بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشند. در کمباین‌های معمولی مجموع تلفات واحدهای کوبنده، جداکننده و تمیزکننده که از انتهای کمباین بر روی زمین می‌ریزد را افت انتهای کمباین می‌گویند در حالی که در کمباین کاه‌کوب تلفات این واحدها به مخزن کاه منتقل می‌شود و در نهایت به مصرف دام می‌رسد. به همین دلیل برخی از کارشناسان عقیده دارند که نباید به‌عنوان افت در نظر گرفته شود. در هر صورت محاسبه و اندازه‌گیری این افت برای تحلیل اقتصادی لازم است تا مشخص شود که آیا جداسازی این دانه‌ها در زمان کوبیدن کلش که برای تبدیل کلش به کاه انجام می‌شود، به صرفه است یا خیر.

$$L_T = \frac{10D}{LW} \qquad (۴)$$

$$L_C = \frac{10E}{LW} \qquad (۵)$$

با استفاده از الک‌های دستی دانه‌های شکسته شده در مخزن دانه از دانه‌های سالم جدا شدند و درصد آن‌ها (بر اساس وزن) در مخزن دانه به عنوان تلفات کیفی در نظر گرفته شد.

درصد افت کل کمباین (L_{Total}) از مجموع تلفات سکوی برش، بدنه و افت انتهای کمباین (واحدهای کوبنده و تمیزکننده) به‌دست آمد.

طرح آزمایشی مورد استفاده

این آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این آزمایش سطوح مختلف تیمار عملکرد در کرت‌های اصلی و دو تیمار مدل کمباین و سرعت پیشروی کمباین به‌صورت فاکتوریل، در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. برای تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار SAS نسخه ۲۲ استفاده شد.

ظرفیت و ارزیابی اقتصادی کمباین کاه‌کوب

در بخش دوم، ظرفیت زراعی کمباین، هزینه برداشت هر هکتار، درآمد کشاورز از کاه به‌دست آمده و درآمد از دست رفته به دلیل تلفات بیشتر کمباین کاه‌کوب نسبت به کمباین معمولی بررسی گردید. جهت بررسی ظرفیت زراعی کمباین‌های کاه‌کوب، میانگین زمان لازم برای برداشت یک هکتار اندازه‌گیری گردید.

هزینه برداشت هر هکتار با کمباین کاه‌کوب بیش‌تر از کمباین معمولی می‌باشد و در مزارع با عملکرد دانه بالاتر، به دلیل افزایش کاه تولیدی و به تبع آن افزایش فشار بر کمباین و همچنین افزایش زمان مورد نیاز برای برداشت هر هکتار، اختلاف هزینه آن با کمباین معمولی افزایش می‌یابد. هزینه برداشت هر هکتار گندم با کمباین کاه‌کوب برای مزارع با عملکردهای مختلف بر اساس هزینه‌های برداشت سال ۱۳۹۹ در شهرستان ازنا در نظر گرفته شد. هزینه برداشت با کمباین معمولی بیش‌تر بر اساس سنگین، نیمه‌سنگین و

سبک بودن کمباین تعیین می‌گردد. با در نظر گرفتن هزینه‌های برداشت مزارع گندم در سال ۱۳۹۹، اختلاف هزینه برداشت با کمباین کاه‌کوب و کمباین معمولی (ΔSC) بر اساس عملکردهای مختلف مزارع برای شهرستان ازنا (بر حسب ریال بر هکتار) محاسبه گردید.

به دلیل تلفات بیش‌تر کمباین‌های کاه‌کوب نسبت به کمباین‌های معمولی، درآمد کشاورزان از محصول دانه برداشت شده، کاهش می‌یابد که برابر با اختلاف تلفات کمباین کاه‌کوب و کمباین معمولی در هر هکتار (بر حسب کیلوگرم) در قیمت هر کیلوگرم گندم است. رابطه (۶) نشان‌دهنده درآمدی (I_{Loss}) است که کشاورز به دلیل ریزش بیش‌تر کمباین کاه‌کوب نسبت به کمباین معمولی در هر هکتار از دست می‌دهد (ریال بر هکتار).

$$I_{Loss} = (L_{TNPc} - L_{TNPs}) * Y * P_W \qquad (۶)$$

جایی که L_{TNPc} و L_{TNPs} به‌ترتیب درصد افت کل کمباین کاه‌کوب و معمولی، Y عملکرد مزارع (کیلوگرم بر هکتار) و P_W قیمت هر کیلوگرم گندم (بر حسب ریال) می‌باشد.

همچنین اختلاف درآمد کشاورز (ΔI) در حالتی که برداشت با کمباین کاه‌کوب انجام شود با حالتی که با کمباین معمولی همراه با جمع‌آوری کاه صورت گیرد بر حسب ریال بر هکتار محاسبه گردید. مزیت اقتصادی که کمباین کاه‌کوب نسبت به کمباین معمولی دارد شامل درآمد حاصل از کاه جمع‌آوری شده هم‌زمان با برداشت دانه است، در حالی که هزینه کم‌تر برداشت، درآمد بیش‌تر کشاورز به دلیل تلفات کم‌تر دانه (I_{Loss}) و درآمد حاصل از جمع‌آوری کاه پس از برداشت از مزایای اقتصادی برداشت با کمباین معمولی می‌باشند. اگر اختلاف درآمد برداشت با کمباین کاه‌کوب با کمباین معمولی مثبت باشد، نشان‌دهنده اقتصادی‌تر بودن روش برداشت با کمباین کاه‌کوب است و اگر منفی شود روش برداشت با کمباین معمولی اقتصادی‌تر می‌باشد. در صورتی که اختلاف صفر شود، از نظر اقتصادی هر دو روش برداشت شرایط یکسانی دارند (White, Case, & Pratt, 2012). خلاصه محاسبه اختلاف درآمد کشاورز از هر هکتار (ΔI) بر حسب ریال در حالت برداشت با کمباین کاه‌کوب با کمباین معمولی به‌صورت رابطه (۷) بیان شده است.

$$\Delta I = I_{Straw_s} - (\Delta SC + I_{Loss} + I_{Straw_C} - C_{Straw_C}) \qquad (۷)$$

جایی‌که I_{Straw_s} درآمد حاصل از کاه به‌دست آمده با کمباین کاه‌کوب (ریال بر هکتار)، I_{Straw_C} درآمد ناخالص حاصل از جمع‌آوری کاه پس از برداشت با کمباین معمولی (ریال بر هکتار) و C_{Straw_C} هزینه جمع‌آوری کاه (ریال بر هکتار) پس از برداشت با کمباین معمولی می‌باشد. مقدار I_{Straw_s} و I_{Straw_C} از ضرب مقدار کاه تولید شده از هر هکتار (کیلوگرم) در قیمت هر کیلوگرم کاه (بر حسب ریال) به‌دست آمدند.

نتایج و بحث

اندازه‌گیری ریزش

میانگین رطوبت ساقه و دانه مزارع مورد بررسی بر اساس وزن خشک به‌ترتیب ۱۴ و ۸ درصد به‌دست آمد. عملکرد مزارع انتخابی در سطح کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب حدود ۱۵۵۰، ۴۵۶۰ و ۷۵۴۰ کیلوگرم در هکتار و افت طبیعی این مزارع به‌ترتیب، ۸/۳٪، ۴/۷٪ و ۳/۵٪ بود. اثر مدل کمباین، سرعت پیشروی و عملکرد مزارع گندم بر ریزش واحدهای مختلف کمباین در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد اثر تیمارهای عملکرد مزارع گندم، مدل کمباین و سرعت پیشروی و همچنین اثرات متقابل دوگانه عملکرد مزارع * مدل کمباین، عملکرد مزارع *سرعت پیشروی و همچنین اثر متقابل سه‌گانه عملکرد مزارع* مدل کمباین*سرعت پیشروی بر همه صفات ریزش کمباین در سطح احتمال یک درصد معنادار است.

مقایسه میانگین‌های همه افت‌های مورد بررسی با توجه به مدل کمباین، سرعت پیشروی کمباین و عملکرد مزارع با روش دانکن در جدول ۳ نشان داده شده است. در مجموع، درصد افت دانه (افت دماغه، واحد کوبنده، واحد تمیزکننده و کل) در عملکردهای کم، به‌طور معنی‌داری بیش از عملکردهای متوسط و زیاد بوده است. میانگین تلفات کل کمباین کاه‌کوب در عملکرد کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۶/۸۱٪، ۳/۵۵٪ و ۴/۴۴٪ به‌دست آمدند که همگی در سطح پنج درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند. در عملکرد کم‌تر از ۲ تن که شامل مزارع دیم می‌باشد، تغذیه و حجم ورود دانه و کاه به کمباین کم می‌باشد و احتمالاً درصد خرد شدن دانه در واحد کوبش بیش‌تر است، بنابراین درصد تلفات در واحد تمیزکننده نیز بیش‌تر می‌گردد. میزان ریزش کل کمباین کاه‌کوب در عملکرد متوسط مزارع (بین ۲ تا ۵ تن در هکتار) کم‌ترین میزان است (۳/۵۵٪) در حالی که با افزایش عملکرد (بیش از ۵ تن در هکتار)، دوباره افزایش می‌یابد (۴۴/۴٪). این تغییرات، بیش‌تر ناشی از افت انتهای کمباین است. در عملکردهای بیشتر به دلیل افزایش نرخ ورود مواد به درون کوبنده، مخصوصاً در کمباین کاه‌کوب که کاه‌بران‌ها حذف شده‌اند، فرصت کافی برای جداسازی دانه از کاه وجود ندارد.

میانگین ریزش کل کمباین ۱۰۵۵ (۴/۲۶٪ برابر با ۲۰۷ کیلوگرم در هکتار) کم‌تر از کمباین ۱۱۶۵ (۵/۶۲٪ برابر با ۲۳۵ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد که این اختلاف به دلیل افت بیش‌تر در واحد کوبش و واحد تمیزکننده کمباین ۱۱۶۵ است (جدول ۳) که تغییرات عمده جهت تبدیل کمباین معمولی به کاه‌کوب در این واحدها صورت گرفته است. این در حالی است که ریزش دماغه و بدنه در کمباین ۱۱۶۵ کم‌تر می‌باشد. طبق انتظار، افزایش سرعت باعث افزایش افت کلی

کمباین شده است. طبیعتاً با افزایش سرعت، نرخ ورود مواد به درون کمباین افزایش می‌یابد و به همان نسبت، احتمال بیش باری در واحدهای کمباین افزایش می‌یابد و همچنین دانه‌ها فرصت کم‌تری برای جدایی از کاه دارند.

در عملکردهای متوسط و بالای مزرعه با افزایش سرعت پیشروی کمباین مقدار افت واحد کوبش در هر دو مدل کمباین ۱۰۵۵ و ۱۱۶۵ افزایش یافت ولی در عملکرد کم مزرعه این گونه نبود و مشاهده شد که در هر دو مدل کمباین در عملکرد کم مزرعه، میزان افت واحد کوبش در سرعت کم بیش از سرعت متوسط است که احتمالاً به دلیل این است که افزایش حجم تغذیه کاه مانع از خرد شدن دانه‌ها در واحد کوبش می‌شود. در مزارع با عملکرد بالا میزان افت واحد کوبش در کمباین ۱۰۵۵ و ۱۱۶۵ در بیشترین سرعت نسبت به کم‌ترین سرعت پیشروی به‌ترتیب ۳۸٪ و ۳۶٪ افزایش یافت که بیانگر اهمیت سرعت پیشروی و میزان بار ورودی به کمباین در میزان افت ناشی از واحد کوبش و در نهایت افت انتهای کمباین می‌باشد. رستمی و همکاران (Rostami *et al.*, 2018) با بررسی تلفات کمباین‌های کاه‌کوب کلاس (مدل ۷۶) و جاندیر (مدل ۹۵۵)، بیان کردند که افزایش بار و حجم تغذیه موجب افزایش تلفات واحدهای کوبنده، جداکننده و تمیزکننده می‌شود. آن‌ها مجموع تلفات واحدهای کوبنده، جداکننده و تمیزکننده را ۸/۱٪ بیان کردند. در مطالعه دیگری که توسط قلشخانی (Gheleshkhani, 2017) انجام گرفت، مجموع افت واحدهای کوبنده؛ جداکننده و تمیزکننده (افت انتها) کمباین کاه‌کوب جاندیر (مدل ۹۵۵) به‌ترتیب ۲٪ و ۳/۵٪ در رطوبت نسبی ۱۲٪ و ۱۹٪ محیط به‌دست آمد که از تلفات کمباین معمولی در شرایط یکسان کم‌تر بود.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر عملکرد مزارع گندم و سرعت پیشروی کمباین بر مؤلفه‌های درصد افت دو مدل کمباین کاه‌کوب

Table 2- Analysis of variance related to the effect of wheat yield and combine ground speed on different type losses of two models of straw collecting combine harvesters

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی Degree of freedom	ریزش دماغه Head loss	ریزش بدنه Body loss	افت واحد تمیزکننده Cleaning unit loss	افت واحد کوبنده Threshing unit loss	افت انتهای کمباین End loss	افت کل کمباین Total losse	افت کیفی کمباین Quality loss
بلوک Block	2	0.011^{ns}	0.192**	0.178**	0.530**	0.781**	5.24**	1.31^{ns}
عملکرد Yield	2	1.48**	2.24**	12.55**	6.76**	36.85**	58.43**	4.12**
خطا Error	4	0.001	0.040	0.045	0.138	0.075	0.486	0.03
مدل کمباین Combine model	1	4.59**	0.102**	0.756**	5.35**	9.76**	22.91**	1.11**
سرعت Ground speed	2	0.275**	1.46**	3.43**	2.92**	8.54**	19.95**	1.95**
عملکرد× مدل کمباین Combine model*Yield	2	3.79**	0.350**	0.893**	4.04**	8.41**	19.60**	2.17**
عملکرد×سرعت Yield*Ground speed	4	0.391**	0.162**	2.55**	1.52**	0.186**	0.753**	1.42**
مدل کمباین×سرعت Combine model*Ground speed	2	0.062**	0.217**	0.138**	0.332**	0.498**	0.886**	0.38**
عملکرد× مدل کمباین×سرعت Combine model*Yield*Ground speed	4	0.093**	0.075**	0.191**	0.098**	0.264**	0.337**	0.59**
خطای کل Total error	30	0.004	0.002	0.006	0.005	0.042	0.061	0.01
ضریب تغییرات (درصد) Coefficient of variation		9.35	4.17	7.06	3.49	6.51	4.66	4.68

** معنادار بودن در سطح احتمال یک درصد، ns معنادار نبودن را نشان می‌دهند.

** Significance at the 1% probability level, ns: non-significance

بیش‌ترین مقدار تلفات دانه با ۴۶۰ کیلوگرم در هکتار (معادل ۶/۱۲٪) مربوط به کمباین جاندیر ۱۰۵۵ با سرعت پیشروی ۲ کیلومتر بر ساعت (تیمار با بالاترین سرعت پیشروی) و در مزرعه با عملکرد بالا (بیش از ۵ تن در هکتار) بود. کاهش عملکرد مزرعه و سرعت پیشروی کمباین سبب شد که میزان افت کل کمباین در هر دو مدل کمباین ۱۰۵۵ و ۱۱۶۵ کاهش یابد و میانگین تلفات کل کمباین از

۶/۱۲٪ به ۴/۰۳٪ کاهش یابد. در مزارع با عملکرد نسبی کم مشاهده شد که کمباین ۱۰۵۵ نسبت به کمباین ۱۱۶۵ برتری داشته و میزان افت کلی کمباین در هر سه سرعت پیشروی، کم‌تر از کمباین جاندیر ۱۱۶۵ بود. در کمباین ۱۱۶۵ نیز هرچند که در هر سه سرعت پیشروی میزان افت کلی کمباین در مزارع با عملکرد نسبی کم بیشتر از کمباین ۱۰۵۵ بود، ولی مشاهده شد که با افزایش سرعت پیشروی، میزان افت کلی کمباین کاهش می‌یابد که این امر می‌تواند به دلیل کاهش خرد شدن دانه در سیلندر کوبنده و به تبع کاهش افت واحد تمیزکننده باشد.

بیشترین درصد افت کل، به میزان ۱۰/۵۴٪، مربوط به کمباین ۱۱۶۵ و در عملکرد کم به‌دست آمد، در حالی‌که کم‌ترین درصد افت کل، به میزان ۲/۵۴٪، مربوط به کمباین ۱۰۵۵ در عملکرد متوسط و سرعت کم حاصل شد. از بررسی نتایج مقایسه میانگین‌ها مشاهده گردید که میزان ریزش در کمباین کاه‌کوب به سرعت پیشروی و عملکرد مزارع وابسته است و تغییرات آن از حدود ۳/۵٪ تا ۱۰/۵٪ متغیر است.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر عملکرد مزارع، سرعت پیشروی و مدل کمباین بر مؤلفه‌های درصد افت کمباین کاه‌کوب

Table 3- Comparison of the mean effect of grain yield, ground speed and Combine harvester model on losses of straw collecting combine harvester (%)

تیمار Treatment		افت هد Head loss	افت بدنه Body loss	افت واحد کوبنده Threshing unit loss	افت واحد تمیزکننده Cleaning unit loss	افت انتهای کمباین End loss	افت کل Total loss	افت کیفی Quality loss
عملکرد مزارع Grains yield	کم low	0.96[a]	1.02[b]	2.76[a]	2.09[a]	4.85[a]	6.81[a]	3.41[a]
	متوسط medium	0.41[c]	0.82[c]	1.68[b]	0.63[b]	2.32[b]	3.55[c]	2.72[b]
	زیاد High	0.57[b]	1.50[a]	1.72[b]	0.66[b]	2.37[b]	4.44[b]	2.29[c]
مدل کمباین Combine model	JD1055	0.35[b]	1.16[a]	1.74[b]	1.01[b]	2.75[b]	4.26[b]	2.73[a]
	JD1165	0.94[a]	1.07[b]	2.36[a]	1.25[a]	3.61[a]	5.62[a]	3.02[b]
سرعت پیشروی Ground speed	بالا High	0.78[a]	1.44[a]	2.51[a]	1.39[a]	3.90[a]	6.12[a]	3.25[a]
	متوسط medium	0.53[c]	1.00[b]	1.79[c]	1.37[a]	3.16[b]	4.70[b]	2.75[b]
	کم Low	0.63[b]	0.90[c]	1.87[b]	0.64[b]	2.51[c]	4.03[c]	2.63[c]

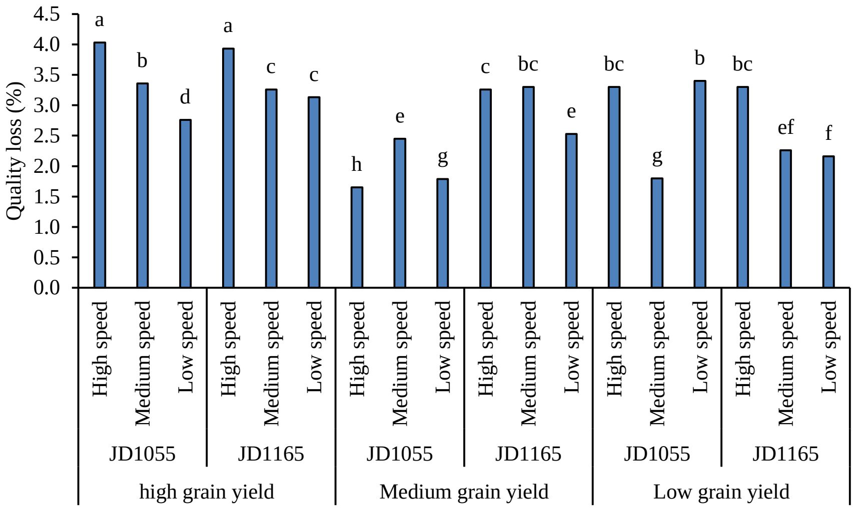
حروف مشابه نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری تیمارها بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند.

Similar letters indicate no significant difference between treatments based on Duncan test at the level of 5%

میانگین ریزش کمباین‌های معمولی جاندیر در منطقه مورد مطالعه بر اساس ۲۴ نمونه تصادفی برابر با ۳/۲۲٪ اندازه‌گیری شد که افت انتهای کمباین تنها ۰/۶۴٪ بود، در حالی که افت انتهای کمباین کاه‌کوب بین ۱/۱۸٪ و ۶/۶۷٪ به‌دست آمد و میانگین آن برابر با ۳/۰۳٪ بود. میانگین افت کل در کمباین کاه‌کوب ۵/۴۴ ٪ اندازه‌گیری شد. اختلاف اصلی کمباین کاه‌کوب با معمولی در واحدهای کوبش، جداکننده و تمیزکننده و به تبع آن، تفاوت در افت انتهای کمباین می‌باشد. همان طور که مشخص است اختلاف زیادی در افت انتهای کمباین کاه‌کوب با معمولی وجود دارد و افت انتها در کمباین کاه‌کوب نسبت به کمباین معمولی، به شرایط حساس‌تر می‌باشد. میانگین افت سکوی برش و بدنه در کمباین‌های معمولی جاندیر به‌ترتیب ۱/۴۵٪ و ۱/۱۳٪ اندازه‌گیری شد که در مطالعه کنونی میانگین آن‌ها در کمباین کاه‌کوب به‌ترتیب ۱/۱۷٪ و ۱/۰۹٪ به‌دست آمد.

افت کیفی

اثر تیمارهای عملکرد مزارع، مدل کمباین و سرعت پیشروی کمباین و همچنین اثرات متقابل دوگانه عملکرد مزارع * مدل کمباین، عملکرد مزارع*سرعت پیشروی کمباین، مدل کمباین*سرعت پیشروی کمباین و همچنین اثر متقابل سه‌گانه عملکرد مزارع * مدل کمباین * سرعت پیشروی کمباین بر صفت افت کیفی کمباین در سطح احتمال یک درصد معنادار بود (شکل ۲). میزان افت کیفی هر دو مدل کمباین ۱۰۵۵ و ۱۱۶۵ در سرعت‌های بالاتر کمباین و عملکرد نسبی بالاتر مزرعه بیشتر از سطوح دیگر عملکرد و سرعت می‌باشد. بالاترین میزان افت کیفی کمباین به میزان ۴/۰۳٪ مربوط به کمباین ۱۰۵۵ در بالاترین میزان سرعت پیشروی کمباین و بالاترین میزان عملکرد مزرعه بود. کم‌ترین میزان افت کیفی کمباین در تیمار سرعت بالای پیشروی کمباین ۱۰۵۵ و در عملکرد متوسط مزرعه (۱/۶۵٪) به‌دست آمد.



شکل ۲- اثر متقابل سه‌گانه عملکرد*مدل کمباین*سرعت پیشروی بر صفت افت کیفی کمباین (ستون‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه هستند فاقد تفاوت آماری معنادار بر اساس آزمون دانکن در سطح پنج درصد می‌باشند)

Fig .2. Three-way interactions of grain yield*combine harvester model*ground speed on quality loss (Columns with at least one similar letter have no statistically significant difference based on Duncan's test at the 5% level.)

ظرفیت زراعی

از مواردی که در استفاده از کمباین‌های کاه‌کوب در سطح خرد و کلان باید به آن توجه ویژه شود، ظرفیت زراعی کمباین کاه‌کوب است. میانگین ظرفیت کمباین کاه‌کوب و معمولی در عملکردهای مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد با افزایش عملکرد، زمان لازم برای برداشت هر هکتار با کمباین کاه‌کوب، به شدت و تا ۸ برابر افزایش می‌یابد. افزایش زمان برداشت و کاهش ظرفیت زراعی کمباین کاه‌کوب متأثر از کاهش عرض سکوی برش (عرض کار واقعی)، کاهش سرعت پیشروی و بازده کمباین است. در کمباین‌های معمولی تنها خالی کردن دانه از مخزن وجود دارد (کمباین‌های جدید در حین برداشت عمل تخلیه دانه را نیز انجام می‌دهند) ولی در کمباین کاه‌کوب علاوه بر دانه، تخلیه کاه نیز وجود دارد که موجب افزایش تلفات زمانی می‌شود. از طرف دیگر، به دلیل افزایش فشار بر محورها، بلبرینگ‌ها، پولی و تسمه‌ها، زنجیرها، اتصالات چرخ عقب و موتور و هم‌چنین کاهش کیفیت قطعات، خرابی و توقف (زمان لازم برای تعمیر و سرویس) این نوع کمباین در فصل برداشت نسبت به کمباین معمولی بیش‌تر می‌باشد. این موارد موجب شده است که در برخی موارد کشاورزان با کمبود کمباین جهت برداشت مزارع و تأخیر در برداشت مواجه شوند. این موضوع در سال‌های پر باران که عملکرد مزارع دیم افزایش می‌یابد، به روشنی مشهود است. با توجه به این‌که درصد بسیار زیادی از کمباین‌های معمولی به کاه‌کوب تبدیل می‌شوند (بر اساس آمار جهاد کشاورزی استان لرستان، بیش از ۸۵ درصد کمباین‌ها در فصل برداشت ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ از نوع کاه‌کوب بودند) و ظرفیت برداشت کشور به شدت کاهش پیدا می‌کند، متولیان امر باید این مسئله را در اولویت برنامه‌ریزی تولید و تأمین کمباین کشور قرار دهند.

بررسی اقتصادی

هزینه برداشت با کمباین کاه‌کوب در منطقه به صورت‌های متفاوتی در نظر گرفته می‌شود که به‌صورت ساعتی، مخزن کاه و توافقی است که در سال‌های اخیر بیش‌تر به‌صورت توافقی بوده است. در سال ۱۳۹۹ هزینه برداشت هر هکتار برای مزارع با عملکرد کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب حدود ۴، ۸ و ۱۰ میلیون ریال بوده است. در سال ۱۳۹۹، هزینه برداشت هر هکتار با کمباین جاندیر ۱۰۵۵ و ۱۱۶۵ که جزو کمباین‌های سبک و نیمه‌سنگین به حساب می‌آیند، ۴ میلیون ریال بود. قیمت هر کیلوگرم کاه در فصل برداشت ۵۰۰۰ ریال و در فصل زمستان و نیاز ۱۸۳۳۰۰ ریال در سال ۱۳۹۹ بود. میانگین نسبت تولید کاه به دانه در عملکرد کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۱/۱۳، ۱/۳۳ و ۱/۴۲ به‌دست آمد. بر اساس این نسبت‌ها و مزارعی که عملیات اندازه‌گیری در آن‌ها انجام گرفت مقدار تولید کاه در هر هکتار تعیین گردید که در جدول ۴ نشان داده شده است.

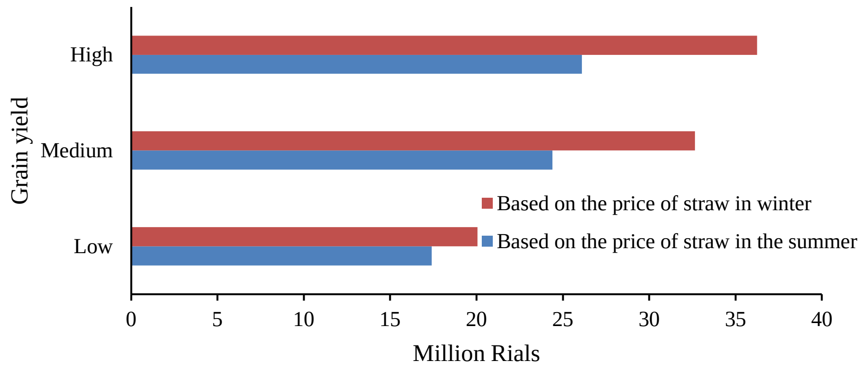
جدول ٤- زمان لازم جهت برداشت و مقدار کاه تولیدی و درآمد حاصل از آن در هکتار

Table 4- Required time to harvest each hectar and the amount and income of straw collected per hectare

عملکرد Grain yield (t.ha^{-1})	زمان لازم برای برداشت یک هکتار (دقیقه) Required time for harvesting (mine/ha)				کاه تولیدی در هکتار Collected straw per hectare			
	JD1055		JD1165		کمباین معمولی Conventional combine		کمباین کاه‌کوب Straw collecting combine	
	معمولی Conventional	کاه کوب Straw collecting	معمولی Conventional	کاه کوب Straw collecting	مقدار Amount (kg)	درآمد (میلیون ریال) Income (million Rials)	مقدار Amount (kg)	درآمد (میلیون ریال) Income (million Rials)
<1	44	60	38	45	900	4.5	1000	5
1 to 2	60	60 to 150	50	100 to 135	1550	7.8	1750	8.8
2 to 5	60 to 100	180 to 280	50 to 90	135 to 240	5450	27.3	6070	30.4
>5	100 to 150	279 to 500	90 to 135	240-420	9500	47.5	10500	52.5

لازم به ذکر است که وزن کاه شامل دانه‌های سالم و شکسته حاصل از افت واحدهای کوبش و تمیزش نیز می‌باشد. در سال‌های اخیر روش‌های به‌نژادی موجب معرفی ارقام پاکوتاه گندم و کاهش نسبت کاه به دانه شده است و انتظار می‌رود در آینده استفاده از این نوع ارقام در بین کشاورزان بیشتر شود که کمباین کاه‌کوب با کف‌بر کردن محصول می‌تواند برای برداشت هم‌زمان دانه و کاه این نوع ارقام مناسب باشد. جمع‌آوری کاه پس از برداشت با کمباین معمولی با روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد که متداول‌ترین آن‌ها شامل استفاده از ادوات جمع‌آوری کاه مانند دروگر شانه‌ای و استوانه‌ای (بیشتر از نوع شانه‌ای)، شانه، بسته‌بند مکعبی و خرمن‌کوب است. مقدار کاه تولیدی در این روش بر اساس محاسبات و برآوردهای میدانی حدود ۹۰٪ کاه تولیدی با کمباین کاه‌کوب است. به دلیل اینکه تقریباً برداشت کل مزارع دیم با کمباین کاه‌کوب صورت می‌گیرد، محاسبات و برآورد کاه، تنها در مزارع آبی انجام شد. هزینه جمع‌آوری کاه هر هکتار با این روش در سال ۱۳۹۹ حدود ۱۸/۱ میلیون ریال به‌دست آمد. روش دیگری که در سال‌های گذشته معرفی شده ولی در منطقه مورد استقبال قرار نگرفت، شامل استفاده از چاپر با هد برشی همراه با تریلی مخصوص حمل کاه است. درآمد ناخالص کاه تولیدی بر اساس قیمت فصل تولید (۵۰۰۰ ریال به ازای هر کیلوگرم، در تابستان ۱۳۹۹) در جدول ۴ نشان داده شده است. درآمد ناخالص تولید کاه بر اساس قیمت کاه در فصل زمستان، ۳/۷ برابر می‌شود.

میانگین درآمدی (ILoss) که کشاورز به دلیل ریزش بیشتر کمباین کاه‌کوب نسبت به کمباین معمولی در هر هکتار از دست می‌دهد برای مزارع با عملکرد کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۱/۷۲، ۰/۷۹ و ۳/۰۱ میلیون ریال به‌دست آمد. قیمت هر کیلوگرم گندم در سال ۱۳۹۹ بر اساس قیمت تضمینی خرید گندم برابر با ۲۷ هزار ریال در نظر گرفته شد. اختلاف درآمد حاصل از برداشت (ΔI) با کمباین کاه‌کوب و معمولی در عملکردهای مختلف و همچنین حداقل و حداکثر قیمت کاه در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در همه عملکردها و در حداقل و حداکثر قیمت کاه، برداشت با کمباین کاه‌کوب نسبت به کمباین معمولی در منطقه مورد مطالعه اقتصادی‌تر می‌باشد.



شکل ۳- تفاوت درآمد برداشت با کمباین کاه‌کوب و معمولی بر اساس سال ۱۳۹۹

Fig. 3. Difference between income of harvesting with straw collecting and conventional combine harvester types in 2020

علاوه بر این موضوع، جمع‌آوری و تولید کاه پس از برداشت با کمباین معمولی زمان‌بر است و در برخی موارد، دسترسی به ادوات موردنیاز برای جمع‌آوری کاه، به آسانی و در کم‌ترین زمان ممکن صورت نمی‌پذیرد. در عمل کشاورزان منطقه که تولید کاه برای آن‌ها بسیار مهم است، این موضوعات را به خوبی دریافته‌اند و مشاهده شده است که با وجود در دسترس بودن کمباین‌های معمولی بسیاری از کشاورزان منطقه برداشت مزارع را به تأخیر می‌اندازند تا با کمباین کاه‌کوب برداشت کنند. در مناطقی که در نظام کشاورزی آن، دامپروری نقش کم‌تری دارد و تولید کاه اهمیت زیادی ندارد (در برخی سال‌ها قیمت آن بسیار کم است) این موارد نمی‌تواند صادق باشد و ممکن است کمباین‌های کاه‌کوب با استقبال کمی مواجه شوند.

نتیجه‌گیری

مدل کمباین، میزان عملکرد مزرعه و همچنین سرعت پیشروی کمباین بر میزان افت واحدهای مختلف و افت کل کمباین کاه‌کوب اثر دارند. درصد افت کل کمباین کاه‌کوب با افزایش عملکرد و افزایش نرخ تغذیه به دلیل کاهش خرد شدن دانه‌ها در سیلندر کوبنده ابتدا کاهش می‌یابد و سپس با افزایش بار بر روی واحد تمیزکننده و الک‌ها افزایش می‌یابد. بیش‌ترین درصد افت در عملکرد کم مشاهده گردید ولی مقدار ریزش در این عملکرد نسبت به عملکرد متوسط و زیاد کم‌تر بود. کم‌ترین درصد افت کمباین کاه‌کوب در عملکرد متوسط می‌باشد. بررسی‌ها نشان داد تغذیه در کمباین کاه‌کوب بسیار تأثیرگذار می‌باشد و در محدوده عملکردهای متوسط مزارع کم‌ترین تلفات را ایجاد می‌کند در حالی که در تغذیه کم و تغذیه زیاد درصد افت کمباین کاه‌کوب افزایش می‌یابد. بیش‌ترین تلفات مربوط به واحد انتهای کمباین می‌باشد که خود از دو بخش کوبش و تمیزکننده تشکیل شده است. افت انتهای کمباین در کاه‌کوب حدود ۲/۲۲٪ بیشتر از کمباین معمولی است. در مزارع با عملکرد کم و متوسط کمباین کاه‌کوب جاندیر ۱۰۵۵ و در عملکرد بالا کمباین کاه‌کوب ۱۱۶۵ افت کم‌تری دارد. استفاده از سرعت بالاتر و عرض کار بیشتر در مزارع با عملکرد کم و کاهش سرعت و عرض کار در اراضی با عملکرد زیاد جهت تنظیم نرخ تغذیه و کاهش افت انتهای کمباین و کل کمباین کاه‌کوب می‌تواند مفید باشند. بررسی اقتصادی نشان داد در مناطقی که کاه دارای اهمیت و قیمت بالایی است استفاده از کمباین کاه‌کوب برای کشاورزان اقتصادی‌تر از کمباین معمولی می‌باشد. با این وجود ظرفیت زراعی این نوع کمباین نسبت به کمباین معمولی کاهش یافته است به طوری که زمان برداشت با این نوع کمباین نسبت به کمباین معمولی بستگی به عملکرد مزارع از ۲۰٪ تا ۳/۳ برابر افزایش یافته است.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از دانشگاه شهید چمران اهواز و حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.MA99.330) تشکر و قدردانی می‌کند.

References

1. Anonymous. (2017). *Technical instructions for combine harvesters and harvesting*. Agricultural Engineering Research Institute, Ministry of Agriculture Jihad, Iran.
2. Behroozi-Lar, M. (2000). *Principles of Design of Agricultural Machinery*. Scientific Publish Center of Islamic Azad University. Tehran, Iran. (in Persian).
3. FAO. (2019). Resources, Statistics. FAOSTAT. Data. http://www.fao.org/faostat/en/#data.
4. Gheleshkhani, A. (2017). Wheat Harvesting Performance of the Straw Mounting Compare with a Usual Type. *Biomedical Engineering*, *6*(3), 1-9. Doi: 10.3390/su12124936.
5. Jahad Agricultural Organization of Lorestan. (2020). Agricultural product statistics. Crop production. Office of the deputy of plant production improvement.
6. Jalali, A., & Abdi, R. (2014). The effect of ground speed, reel rotational speed and reel height in harvester losses. *Journal of Agriculture and Sustainability*, *5*(2), 221-231.
7. Karmulla Chaab, R., Karparvarfard, S., Rahmanian-Koushkaki, H., Mortezaei, R., & Mohammadi, M. (2020). Predicting header wheat loss in a combine harvester, a new approach. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, *19*(2), 179-184. https://doi.org/10.1016/j.jssas.2018.09.002.
8. Khosravani, A., & Rahimi, H. (2006). Elevation of wheat losses for a combine harvesting in Fars province. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *6*(25), 113-130. (in Persian).
9. Mirzazadeh, A., Abdollahpour, S. H., & Moghadam, M. (2011). Effect of Design Parameters on Separation of Grain in Thresher to Minimize Separation Loss of Combine. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *21*(3), 1-11. (in Persian).
10. Mohd, A. A., Omar, A. R., Mutasim, E. A., & Mamou, I. D. (1997). On farm evaluation of combine harvester losses in the Gezira Scheein Sudan. *AMA. 28*(2): 23-25. https://doi.org/10.51542/ijscia.v2i2.17.
11. Patel, S. K., & Varshney, B. P. (2007). Effect of Operational Speed and Moisture Content of Wheat Crop on Plot

Combine Harvest. *Agricultural Mechanization in Asia*, *Africa and Latin America*, *38*(4), 51-55.

12. Rahama, A. M., & Ali, M. E. (1990). On farm evaluation combain harvester losses in the Gomin in Sudan. *Agricultural Mechanization in Asia*, *Africa and Latin America*, *20*(2), 27-31.
13. Rahmati, M. H., Razdari, A., Izadi, M., & Yoosefian, S. H. (2015). Evaluation and comparison of wheat harvest losses for two common combines in Khorramabad Township. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery, 3*(1), 1-8 (in Persian).
14. Rostami, S., Lotfalian, M., & Hoseinzadeh-Samani, B. (2018). Assessment and Comparison of Conventional and Straw Walker Combines Harvesting Losses in Fars Province. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, *19*(70): 85-96. (in Persian). https://doi.org/10.22092/erams.2018.107988.1140
15. Sabir, M. S., Igbal, M., & Yasin, M. (2005). Influence of selected combine and crop parameters on kernel damage and threshability of wheat. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, *42*(3-4), 112-116.
16. Sheraddin, B., & Ghulan, J. (1991). Influence of timing and date of harvest on wheat grain losses. *AMA*, *22*(2): 56-58.
17. Sotnar, M., Pospisil, J., Marecek, J., Dokukilova, T., & Novotny, V. (2018). Influence of the Combine Harvester Parameter Settings on Harvest Losses. *Acta Technologica Agriculturae, 21*(3), 105-108. https://doi.org/10.2478/ata-2018-0019.
18. Sumner, P. E., & Williams, E. J. (2012). *Measuring field losses from grain combines*. University of Georgia. College of Agricultural and Environmental Sciences.
19. White, J. A., Case, K. E., & Pratt, D. B. (2012). *Principle of engineering economic analysis*. 6th Edition. Wiley.